

**Translation**

Rec'd PCT/PTO 16 JUN 2005  
PCT/JP2003/007577

PATENT COOPERATION TREATY



**PCT**

**10/539635**

**INTERNATIONAL PRELIMINARY REPORT ON PATENTABILITY**  
(Chapter II of the Patent Cooperation Treaty)

(PCT Article 36 and Rule 70)

Applicant's or agent's file reference <b>PCT083JST</b>	<b>FOR FURTHER ACTION</b>		See Form PCT/IPEA/416
International application No. <b>PCT/JP2003/007577</b>	International filing date (day/month/year) <b>13 June 2003 (13.06.2003)</b>	Priority date (day/month/year) <b>16 December 2002 (16.12.2002)</b>	
International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC <b>H01L 29/06, 21/20, 21/203, 33/00, H01S 5/34, 5/50, H01L 21/205</b>			
Applicant <b>JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY AGENCY</b>			

1. This report is the international preliminary examination report, established by this International Preliminary Examining Authority under Article 35 and transmitted to the applicant according to Article 36.	
2. This REPORT consists of a total of <u>10</u> sheets, including this cover sheet.	
3. This report is also accompanied by ANNEXES, comprising:	
a. <input checked="" type="checkbox"/> (sent to the applicant and to the International Bureau) a total of <u>18</u> sheets, as follows:	
<input checked="" type="checkbox"/>	sheets of the description, claims and/or drawings which have been amended and are the basis of this report and/or sheets containing rectifications authorized by this Authority (see Rule 70.16 and Section 607 of the Administrative Instructions).
<input type="checkbox"/>	sheets which supersede earlier sheets, but which this Authority considers contain an amendment that goes beyond the disclosure in the international application as filed, as indicated in item 4 of Box No. I and the Supplemental Box.
b. <input type="checkbox"/> (sent to the International Bureau only) a total of (indicate type and number of electronic carrier(s)) _____, containing a sequence listing and/or tables related thereto, in computer readable form only, as indicated in the Supplemental Box Relating to Sequence Listing (see Section 802 of the Administrative Instructions).	
4. This report contains indications relating to the following items:	
<input checked="" type="checkbox"/> Box No. I	Basis of the report
<input type="checkbox"/> Box No. II	Priority
<input type="checkbox"/> Box No. III	Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
<input checked="" type="checkbox"/> Box No. IV	Lack of unity of invention
<input checked="" type="checkbox"/> Box No. V	Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement
<input type="checkbox"/> Box No. VI	Certain documents cited
<input type="checkbox"/> Box No. VII	Certain defects in the international application
<input checked="" type="checkbox"/> Box No. VIII	Certain observations on the international application

Date of submission of the demand <b>11 June 2004 (11.06.2004)</b>	Date of completion of this report <b>04 February 2005 (04.02.2005)</b>
Name and mailing address of the IPEA/JP	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

## INTERNATIONAL PRELIMINARY REPORT ON PATENTABILITY

International application No.

PCT/JP2003/007577

## Box No. I Basis of the report

1. With regard to the language, this report is based on the international application in the language in which it was filed, unless otherwise indicated under this item.

- ☐ This report is based on translations from the original language into the following language \_\_\_\_\_, which is language of a translation furnished for the purpose of:
- ☐ international search (under Rules 12.3 and 23.1(b))
- ☐ publication of the international application (under Rule 12.4)
- ☐ international preliminary examination (under Rules 55.2 and/or 55.3)

2. With regard to the elements of the international application, this report is based on *(replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are not annexed to this report)*:

- ☐ The international application as originally filed/furnished
- ☒ the description:
- pages \_\_\_\_\_ 1-4, 10-41 \_\_\_\_\_, as originally filed/furnished
- pages\* \_\_\_\_\_ 5-9/1 \_\_\_\_\_ received by this Authority on \_\_\_\_\_ 26 November 2004 (26.11.2004)
- pages\* \_\_\_\_\_ received by this Authority on \_\_\_\_\_

- ☒ the claims:
- pages \_\_\_\_\_, as originally filed/furnished
- pages\* \_\_\_\_\_, as amended (together with any statement) under Article 19
- pages\* \_\_\_\_\_ 1-2, 4-9, 12-15, 18-20, 23-25, 27-30 \_\_\_\_\_ received by this Authority on \_\_\_\_\_ 26 November 2004 (26.11.2004)
- pages\* \_\_\_\_\_ received by this Authority on \_\_\_\_\_

- ☒ the drawings:
- pages \_\_\_\_\_ 1-32 \_\_\_\_\_, as originally filed/furnished
- pages\* \_\_\_\_\_ received by this Authority on \_\_\_\_\_
- pages\* \_\_\_\_\_ received by this Authority on \_\_\_\_\_

- ☐ a sequence listing and/or any related table(s) – see Supplemental Box Relating to Sequence Listing.

3. ☒ The amendments have resulted in the cancellation of:

- ☐ the description, pages \_\_\_\_\_
- ☒ the claims, Nos. \_\_\_\_\_ 3, 10-11, 16-17, 21-22 \_\_\_\_\_
- ☐ the drawings, sheets/figs \_\_\_\_\_
- ☐ the sequence listing (*specify*): \_\_\_\_\_
- ☐ any table(s) related to sequence listing (*specify*): \_\_\_\_\_

4. ☐ This report has been established as if (some of) the amendments annexed to this report and listed below had not been made, since they have been considered to go beyond the disclosure as filed, as indicated in the Supplemental Box (Rule 70.2(c)).

- ☐ the description, pages \_\_\_\_\_
- ☐ the claims, Nos. \_\_\_\_\_
- ☐ the drawings, sheets/figs \_\_\_\_\_
- ☐ the sequence listing (*specify*): \_\_\_\_\_
- ☐ any table(s) related to sequence listing (*specify*): \_\_\_\_\_

\* If item 4 applies, some or all of those sheets may be marked "superseded."

INTERNATIONAL PRELIMINARY REPORT ON PATENTABILITY

International application No.

PCT/JP2003/007577

Box No. IV Lack of unity of invention

1. ☐ In response to the invitation to restrict or pay additional fees the applicant has:
- ☐ restricted the claims.
  - ☐ paid additional fees.
  - ☐ paid additional fees under protest.
  - ☐ neither restricted nor paid additional fees.
2. ☒ This Authority found that the requirement of unity of invention is not complied with and chose, according to Rule 68.1, not to invite the applicant to restrict or pay additional fees.
3. This Authority considers that the requirement of unity of invention in accordance with Rules 13.1, 13.2 and 13.3 is
- ☐ complied with.
  - ☒ not complied with for the following reasons:

See supplemental sheet

4. Consequently, this report has been established in respect of the following parts of the international application:

☒ all parts.

☐ the parts relating to claims Nos. \_\_\_\_\_

## Supplemental Box

(To be used when the space in any of the preceding boxes is not sufficient)

Continuation of: IV. 3.

The invention described in claims 1, 2, and 4 to 7 pertains to a semiconductor laminate structure having non-uniform quantum dots; the invention described in claims 8, 9, and 12 to 14 pertains to a light-emitting diode using a semiconductor laminate structure having non-uniform quantum dots; the invention described in claim 15 and claims 18 and 19 pertains to a semiconductor laser diode using a semiconductor laminate structure having non-uniform quantum dots; and the invention described in claim 20 and claims 23 and 24 pertains to a semiconductor optical amplifier using a semiconductor laminate structure having non-uniform quantum dots.

The invention described in claims 25 to 29 pertains to a manufacturing method for a semiconductor device using a semiconductor structure having non-uniform quantum dots, but claims 25 to 29 cannot be said to describe a single method applied particularly in order to manufacture the semiconductor laminate structure having non-uniform quantum dots of the invention described in claims 1, 2, and 4 to 7.

(The manufacturing method of the invention described in claims 25 to 29 cannot be considered a method of manufacturing quantum dots which are characterized in that "the different quantum dots are formed from non-uniform quantum dots having both/either different sizes and/or compositions and comprising a compound semiconductor," and that "the non-uniform quantum dots have a plurality of quantum levels corresponding to a plurality of wavelengths which include at least either of ultraviolet light to visible light or infrared light including the 1.3  $\mu\text{m}$  band and the 1.5  $\mu\text{m}$

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/JP 03/07577

**Supplemental Box**

(To be used when the space in any of the preceding boxes is not sufficient)

Continuation of: IV. 3.

band, and which with the input of electrical current,  
serve as the emission peak(s).")

# INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/JP 03/07577

## V. Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

### 1. Statement

Novelty (N)	Claims	1, 2, 4-9, 12-15, 18-20, 23-30	YES
	Claims		NO
Inventive step (IS)	Claims		YES
	Claims	1, 2, 4-9, 12-15, 18-20, 23-30	NO
Industrial applicability (IA)	Claims	1, 2, 4-9, 12-15, 18-20, 23-30	YES
	Claims		NO

### 2. Citations and explanations

Document 1: Y. Nonogaki et al., "Formation of InGaAs dots on InP substrate with lattice-matching growth condition by droplet heteroepitaxy," *Compound Semiconductors 1998 Institute of Physics Conference Series*, No. 162, 1999, pages 469-473

Document 2: JP 2002-43696 A (Fujitsu Ltd.), 8 February 2002, paragraphs [0028]-[0035], [0100]-[0114], fig. 7 (Family: none)

Document 3: JP 9-326506 A (Fujitsu Ltd.), 16 December 1997, paragraphs [0040]-[0051], fig. 15-17 (Family: none)

Document 4: US 2001-028755 A1 (Fujitsu Ltd.), 11 October 2001, paragraphs [0061]-[0082], paragraph [0109], fig. 6, 9, 10, & JP 2001-255500 A

Document 5: JP 2000-196065 A (Fujitsu Ltd.), 14 July 2000, paragraphs [0026]-[0030], [0056]-[0060], fig. 3, 8, 9 (Family: none)

Claims 1 to 30

Document 1 does not disclose a compound semiconductor characterized in that quantum dots have mutually differing compositions.

However, the double heterostructure wherein cladding layers having a bandgap greater than that of an active layer are provided on both sides of said active layer is a known quantum structure disclosed in documents 2 to 4, and moreover, the active layer and cladding layers of the semiconductor devices disclosed in documents 2 to 4 comprise compound semiconductors having constituent elements such as Ga or the like, which serve as a source of "meltback and mutual dispersion of the constituent elements of the compound semiconductor."

Accordingly, a person skilled in the art could easily conceive of applying the aforementioned double heterostructure to the quantum dots disclosed in document 1, thereby deriving an invention wherein there is "meltback and mutual dispersion of the constituent elements of the compound semiconductor."

## VIII. Certain observations on the international application

The following observations on the clarity of the claims, description, and drawings or on the question whether the claims are fully supported by the description, are made:

(1) The meaning of the phrase "have a plurality of quantum levels," used in the statement of claim 1, wherein "the non-uniform quantum dots have a plurality of quantum levels corresponding to a plurality of wavelengths which include at least either of ultraviolet light to visible light or infrared light including the 1.3  $\mu\text{m}$  band and the 1.5  $\mu\text{m}$  band, and which with the input of electrical current, serve as the emission peak(s)," is unclear.

(It is unclear whether each individual quantum dot "has a plurality of quantum levels," or whether, in order that the quantum level of individual quantum dots be different, there exists a plurality of quantum levels for entire groups of multiple non-uniform quantum dots.)

(2) For the same reason, the meaning of the phrases "have a plurality of quantum levels" and "having a plurality of quantum levels" used in claims 2, 8, 9, 15, and 20 is unclear, and thus, it is not clear what the inventions described in claims 2 to 24 are.

(3) The description of the present application states that:

"[A]n  $\text{Al}_{0.26}\text{Ga}_{0.21}\text{In}_{0.53}\text{As}$  layer (3b) is laminated onto the quantum dots (19) in a thickness of, for example, 5 to 10 nm. While this layer is being grown, meltback and mutual dispersion of the n-type cladding layer (5) and ... the constituent elements of the compound semiconductor serve to give the quantum dots (19) a composition that is not simply InAs, but



## VIII. Certain observations on the international application

is instead a composition such as  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{As}$  (here,  $x + y = 1$ ) that includes, for example, Ga or the like from the cladding layer. ... Moreover, the quantum dots can be made non-uniform." (page 23, line 21 to page 24, line 6)

However, the inventions described in claims 1, 2, 4 to 9, 12 to 15, 18 to 20, 23, and 24 do not have as an invention-defining feature the prerequisite constitution for having the aforementioned "meltback and mutual dispersion of the constituent elements of the compound semiconductor," which bring about quantum dots having different compositions; thus, these inventions cannot be clearly understood.

(4) The invention described in claims 15, 18, and 19 is a semiconductor laser diode wherein "the non-uniform quantum dot layer is excited, and a laser is emitted at specified multiple wavelengths," but this is not sufficiently supported by the description.

(The second embodiment merely uses stripe electrodes for the LED electrodes and forms a mirror using cleavage planes, but said embodiment does not necessarily emit a multi-wavelength laser, and thus, the description does not provide sufficient disclosure in the explanation of the third embodiment, fig. 6, fig. 7, the explanation of the sixth embodiment, fig. 30, and fig. 31 to allow a person skilled in the art to carry out the invention so as to emit a laser at multiple wavelengths.)

(5) The meaning of the phrases "an epitaxy method not requiring lattice strain" and "formed according to a self-limiting function using a droplet epitaxy method" used in

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/JP 03/07577

VIII. Certain observations on the international application

claim 25 is unclear, and thus, it is not clear what the inventions described in claims 25 to 30 are.

Rec'd PCT/PTO 16 JUN 2005

特 許 協 力 条 約

PCT

REC'D 24 FEB 2005

WIPO

PCT

10/539635

特許性に関する国際予備報告 (特許協力条約第二章)

(法第12条、法施行規則第56条)

[PCT36条及びPCT規則70]

出願人又は代理人 の書類記号 PCT083JST	今後の手続きについては、様式PCT/IPEA/416を参照すること。	
国際出願番号 PCT/JPO3/07577	国際出願日 (日.月.年) 13.06.2003	優先日 (日.月.年) 16.12.2002
国際特許分類 (IPC) Int. Cl. H01L29/06, H01L21/20, H01L21/203, H01L21/205, H01L33/00, H01S5/34, H01S5/50		
出願人 (氏名又は名称) 独立行政法人科学技術振興機構		

1. この報告書は、PCT35条に基づきこの国際予備審査機関で作成された国際予備審査報告である。  
法施行規則第57条 (PCT36条) の規定に従い送付する。

2. この国際予備審査報告は、この表紙を含めて全部で 5 ページからなる。

3. この報告には次の附属物件も添付されている。

a ☒ 附属書類は全部で 18 ページである。

☒ 補正されて、この報告の基礎とされた及び/又はこの国際予備審査機関が認めた訂正を含む明細書、請求の範囲及び/又は図面の用紙 (PCT規則70.16及び実施細則第607号参照)

☐ 第I欄4.及び補充欄に示したように、出願時における国際出願の開示の範囲を超えた補正を含むものとこの国際予備審査機関が認定した差替え用紙

b ☐ 電子媒体は全部で (電子媒体の種類、数を示す)。  
配列表に関する補充欄に示すように、コンピュータ読み取り可能な形式による配列表又は配列表に関連するデータを含む。 (実施細則第802号参照)

4. この国際予備審査報告は、次の内容を含む。

- ☒ 第I欄 国際予備審査報告の基礎
- ☐ 第II欄 優先権
- ☐ 第III欄 新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての国際予備審査報告の不作成
- ☒ 第IV欄 発明の単一性の欠如
- ☒ 第V欄 PCT35条(2)に規定する新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての見解、それを裏付けるための文献及び説明
- ☐ 第VI欄 ある種の引用文献
- ☐ 第VII欄 国際出願の不備
- ☒ 第VIII欄 国際出願に対する意見

国際予備審査の請求書を受理した日 11.06.2004	国際予備審査報告を作成した日 04.02.2005	
名称及びあて先 日本国特許庁 (IPEA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 恩田 春香	4L 8934
電話番号 03-3581-1101 内線 3496		

様式PCT/IPEA/409 (表紙) (2004年1月)

## 第I欄 報告の基礎

1. この国際予備審査報告は、下記に示す場合を除くほか、国際出願の言語を基礎とした。

- ☐ この報告は、\_\_\_\_\_ 語による翻訳文を基礎とした。  
それは、次の目的で提出された翻訳文の言語である。
- ☐ PCT規則12.3及び23.1(b)にいう国際調査
- ☐ PCT規則12.4にいう国際公開
- ☐ PCT規則55.2又は55.3にいう国際予備審査

2. この報告は下記の出願書類を基礎とした。(法第6条(PCT14条)の規定に基づく命令に応答するために提出された差替え用紙は、この報告において「出願時」とし、この報告に添付していない。)

☐ 出願時の国際出願書類

☒ 明細書

第 1-4, 10-41 ページ、出願時に提出されたもの  
第 5, 5/1, 6, 6/1, 7, 7/1, 8, 9, 9/1 ページ\*、26. 11. 2004 付けで国際予備審査機関が受理したもの  
第 \_\_\_\_\_ ページ\*、\_\_\_\_\_ 付けで国際予備審査機関が受理したもの

☒ 請求の範囲

第 26 項、出願時に提出されたもの  
第 \_\_\_\_\_ 項\*、PCT19条の規定に基づき補正されたもの  
第 1, 2, 4-9, 12-15, 18-20, 23-25, 27-30 項\*、26. 11. 2004 付けで国際予備審査機関が受理したもの  
第 \_\_\_\_\_ 項\*、\_\_\_\_\_ 付けで国際予備審査機関が受理したもの

☒ 図面

第 1-32 ~~ページ~~図、出願時に提出されたもの  
第 \_\_\_\_\_ ページ/図\*、\_\_\_\_\_ 付けで国際予備審査機関が受理したもの  
第 \_\_\_\_\_ ページ/図\*、\_\_\_\_\_ 付けで国際予備審査機関が受理したもの

☐ 配列表又は関連するテーブル

配列表に関する補充欄を参照すること。

3. ☒ 補正により、下記の書類が削除された。

☐ 明細書 第 \_\_\_\_\_ ページ  
☒ 請求の範囲 第 3, 10, 11, 16, 17, 21, 22 項  
☐ 図面 第 \_\_\_\_\_ ページ/図  
☐ 配列表(具体的に記載すること) \_\_\_\_\_  
☐ 配列表に関連するテーブル(具体的に記載すること) \_\_\_\_\_

4. ☐ この報告は、補充欄に示したように、この報告に添付されかつ以下に示した補正が出願時における開示の範囲を超えてされたものと認められるので、その補正がされなかったものとして作成した。(PCT規則70.2(c))

☐ 明細書 第 \_\_\_\_\_ ページ  
☐ 請求の範囲 第 \_\_\_\_\_ 項  
☐ 図面 第 \_\_\_\_\_ ページ/図  
☐ 配列表(具体的に記載すること) \_\_\_\_\_  
☐ 配列表に関連するテーブル(具体的に記載すること) \_\_\_\_\_

\* 4. に該当する場合、その用紙に“superseded”と記入されることがある。

## 第IV欄 発明の単一性の欠如

1. 請求の範囲の減縮又は追加手数料の納付の求めに対して、出願人は、

- ☐ 請求の範囲を減縮した。
- ☐ 追加手数料を納付した。
- ☐ 追加手数料の納付と共に異議を申立てた。
- ☐ 請求の範囲の減縮も、追加手数料の納付もしなかった。

2. ☒ 国際予備審査機関は、次の理由により発明の単一性の要件を満たしていないと判断したが、PCT規則68.1の規定に従い、請求の範囲の減縮及び追加手数料の納付を出願人に求めないこととした。

3. 国際予備審査機関は、PCT規則13.1、13.2及び13.3に規定する発明の単一性を次のように判断する。

- ☐ 満足する。
- ☒ 以下の理由により満足しない。

請求の範囲1、2、4-7に記載される発明は、不均一な量子ドットを有する半導体積層構造に関するものであり、請求の範囲8、9、12-14に記載される発明は、不均一な量子ドットを有する半導体積層構造を用いた発光ダイオードに関するものであり、請求の範囲15、18-19に記載される発明は、不均一な量子ドットを有する半導体積層構造を用いた半導体レーザダイオードに関するものであり、請求の範囲20、23-24に記載される発明は、不均一な量子ドットを有する半導体積層構造を用いた半導体光増幅器に関するものである。

請求の範囲25-29に記載される発明は、不均一な量子ドットを有する半導体積層構造を用いた半導体装置の製造方法に関するものであるが、請求の範囲25-29は、請求の範囲1、2、4-7に記載の発明の不均一な量子ドットを有する半導体積層構造の製造のために特に適用した一の方法についての請求の範囲であるとはいえない。

(請求の範囲25-29に記載される発明の製造方法は、量子ドットが、「量子ドットのそれぞれが、その大きさ及び組成の両者が異なる化合物半導体からなる不均一な量子ドットから形成されていて」、「不均一な量子ドットが、紫外光から・・・複数の量子準位を有する」不均一な量子ドットを製造するものであるとはいえない。)

4. したがって、国際出願の次の部分について、この報告を作成した。

☒ すべての部分

☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ に関する部分

第V欄 新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての法第12条（PCT35条(2)）に定める見解、それを裏付ける文献及び説明

## 1. 見解

新規性 (N)	請求の範囲	1, 2, 4-9, 12-15, 18-20, 23-30	有 無
	請求の範囲		
進歩性 (IS)	請求の範囲	1, 2, 4-9, 12-15, 18-20, 23-30	有 無
	請求の範囲		
産業上の利用可能性 (IA)	請求の範囲	1, 2, 4-9, 12-15, 18-20, 23-30	有 無
	請求の範囲		

## 2. 文献及び説明 (PCT規則70.7)

文献1: Y Nonogaki et.al, Formation of InGaAs dots on InP substrate with lattice-matching growth condition by droplet heteroepitaxy, Compound Semiconductors 1998 Institute of Physics Conference Series, No.162, 1999, p.469-473

文献2: JP 2002-43696 A (富士通株式会社)  
2002.02.08, 段落【0028】-【0035】,  
【0100】-【0114】、第7図 (ファミリーなし)

文献3: JP 9-326506 A (富士通株式会社)  
1997.12.16, 段落【0040】-【0051】,  
第15-17図 (ファミリーなし)

文献4: US 2001/0028755 A1  
(FUJITSU LIMITED) 2001.10.11,  
段落【0061】-【0082】、段落【0109】,  
第6, 9, 10図 & JP 2001-255500 A

文献5: JP 2000-196065 A (富士通株式会社)  
2000.07.14, 段落【0026】-【0030】,  
【0056】-【0060】、第3, 8, 9図 (ファミリーなし)

請求の範囲1-30

文献1には、量子ドットそれぞれの組成が異なる化合物半導体に関しては記載されていない。

しかしながら、活性層の両側に、該活性層よりも禁制帯幅の大きいクラッド層が積層されたダブルヘテロ構造は文献2-4に記載された周知の量子構造であり、そして、文献2-4に記載の半導体装置の活性層やクラッド層は、例えばGaなど「化合物半導体の成分元素の溶解込みや相互拡散」源となる成分元素を含む化合物半導体である。

したがって、文献1の量子ドットを前記ダブルヘテロ構造に適用して、「化合物半導体の成分元素の溶解込みや相互拡散」がされているものとするのは当業者にとって容易である。

## 第Ⅷ欄 国際出願に対する意見

請求の範囲、明細書及び図面の明瞭性又は請求の範囲の明細書による十分な裏付についての意見を次に示す。

(1) 請求の範囲1の「上記不均一な量子ドットが、紫外光から可視光、 $1.3\mu\text{m}$ 帯及び $1.5\mu\text{m}$ 帯を含む赤外光、の何れかの波長を少なくとも含む多波長に対応する、電流注入により発光中心となる複数の量子準位を有する」は、「複数の量子準位を有する」の意味が不明りようである。

(量子ドットのそれぞれが「複数の量子準位を有する」のか、或いは、それぞれの量子ドットの量子準位が異なるために、多数の不均一な量子ドット全体の量子準位は複数となるとの意味であるのか不明りようである。)

(2) 同様な理由で、請求の範囲2, 8, 9, 15, 20の「複数の量子準位を有する」、「複数の量子準位を有して」の意味が不明りようであるので、請求の範囲2ないし24に係る発明は明確でない。

(3) 本願明細書には、「この量子ドット19上に $\text{Al}_{0.26}\text{Ga}_{0.21}\text{In}_{0.53}\text{As}$ 層3bを例えば $5\sim 10\text{nm}$ 堆積する。この成長中に、量子ドット19は、 $n$ 型クラッド層5及び・・・これら化合物半導体の成分元素の溶け込み(メルトバック)や相互拡散により、単に $\text{InAs}$ ではなく、例えばクラッド層の $\text{Ga}$ などを含む、 $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{As}$ (ここで、 $x+y=1$ )などの組成となる。・・・さらに量子ドットを不均一とすることができる。」(第23頁第21行-第24頁第6行)と記載されているが、請求の範囲1, 2, 4-9, 12-15, 18-20, 23, 24に係る発明は、上記「化合物半導体の成分元素の溶け込みや相互拡散」がなされて量子ドットの組成が異なるものとされるために前提となる構成を発明を特定するための事項としていないので発明を明確に理解できない。

(4) 請求の範囲15, 18, 19に係る発明は、「上記不均一な量子ドット層を励起し、所定の多波長でレーザ発振させる」半導体レーザダイオードであるが、明細書によって十分に裏付けされていない。

(第2の実施の形態のLEDの電極をストライプ電極とし、ミラーを劈開面で形成しただけで、必ず多波長レーザ発振するものとはいえないので、第3の実施の形態の説明、図6, 図7, 実施例6の説明、図30, 図31からは、多波長でレーザ発振させるために、当業者が実施しうる程度に明細書に記載されているものとは認められない。)

(5) 請求の範囲25に記載された「格子歪を必要としないエピタキシャル成長法」、「液滴エピタキシャル成長法による自己停止機能により形成される」の意味が不明りようであるので、請求の範囲25ないし30に係る発明の範囲が明確でない。

が、1.3  $\mu\text{m}$ 帯～1.5  $\mu\text{m}$ 帯における発光や光増幅が実現できていないという課題がある。

さらに、上記文献（K. Kamath他4名“Room temperature operation of  $\text{In}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}/\text{GaAs}$  self-organised quantum dot lasers”, Electron Lett., 1996, Vol. 32, pp. 1374-1375参照）において、 $\text{InP}$ 基板上に形成した $\text{InAs}$ の量子ドットからの室温におけるフォトルミネッセンスは観測されたものの、室温におけるpnダイオードの順方向電流注入からの強度の強い1.3  $\mu\text{m}$ 帯～1.5  $\mu\text{m}$ 帯の発光は実現されていないという課題がある。

以上のように、量子ドットを用いた実用に耐え得る波長帯域の広いLED, LD, 半導体光増幅器などの半導体装置の実現が望まれているが、従来は実用的な発光強度を有するLEDすら得られていないという課題がある。

#### 発明の開示

本発明の目的は、上記課題に鑑み、波長範囲の広い発光や増幅のできる、不均一な量子ドットを有する半導体積層構造及びそれを用いた発光ダイオード、半導体レーザダイオード、半導体光増幅器並びにそれらの製造方法を提供することにある。

本発明者らは、これまで、液滴ヘテロエピタキシーによる形成する際に格子歪を必要としない不均一な量子ドット構造の作製方法を独自に提案し、世界に先駆けて量子ドットからの電流注入により1.3  $\mu\text{m}$ 帯～1.5  $\mu\text{m}$ 帯の発光を観測することに成功し、本発明を完成するに至った。

上記の目的を達成するため、本発明の不均一な量子ドットを有する半導体積層構造は、量子ドットが少なくとも1層以上積層され、量子ドットのそれぞれが、その大きさ及び組成の両者が異なる化合物半導体からなる不均一な量子ドットから形成されていて、不均一な量子ドットが、紫外光から可視光、1.3  $\mu\text{m}$ 帯及び1.5  $\mu\text{m}$ 帯を含む赤外光、の何れかの波長を少なくとも含む多波長に対応する、電流注入により発光中心となる複数の量子準位を有することを特徴とする。

また、活性層の両側に、活性層よりも禁制帯幅の大きいクラッド層が積層されたダブルヘテロ接合構造であって、活性層が、不均一な量子ドットからなる層を



少なくとも1層以上含み、不均一な量子ドットのそれぞれが、その大きさ及び組成の両者が異なる化合物半導体からなる不均一な量子ドットから形成されていて、不均一な量子ドットが、紫外光から可視光、 $1.3\ \mu\text{m}$ 帯及び $1.5\ \mu\text{m}$ 帯を含む赤外光、の何れかの波長を少なくとも含む多波長に対応する、電流注入により発光中心となる複数の量子準位を有することを特徴とする。

不均一な量子ドット層が、活性層に多層埋め込まれた構造でもよい。

量子ドットは、 $Ga_x In_{1-x} As$ （ここで、 $0 < x \leq 0.6$ ）であり、活性層は、 $InP$ 、 $Al_x In_{1-x} As$ （ここで、 $x = 0.27 \sim 0.65$ であり、かつ、室温における禁制帯幅が $0.95 eV \sim 1.9 eV$ ）、 $Ga_x In_{1-x} As_y P_{1-y}$ （ここで、 $0 < x < 1$ であり、 $0 < y < 1$ である。）、 $Al_u Ga_v In_w As$ （ここで、 $u + v + w = 1$ であり、かつ、室温における禁制帯幅が $0.95 eV \sim 1.9 eV$ ）の何れか1つであり、不均一な量子ドットが、 $1.3 \mu m$ 帯及び $1.5 \mu m$ 帯を含む赤外光の何れかの波長を少なくとも含む多波長に対応する、電流注入により発光中心となる複数の量子準位を有することが好ましい。また、不均一な量子ドット構造を有する半導体積層構造の基板は $InP$ であり、量子ドットは $Ga_x In_{1-x} As$ （ここで、 $0 < x \leq 0.6$ ）であり、活性層は $Al_x In_{1-x} As$ （ここで、 $x = 0.27 \sim 0.40$ であり、かつ、室温における禁制帯幅が $0.95 eV \sim 1.24 eV$ ）または $Al_u Ga_v In_w As$ （ここで、 $u + v + w = 1$ であり、かつ、室温における禁制帯幅が $0.95 eV \sim 1.24 eV$ ）であり、クラッド層は $Al_x In_{1-x} As$ （ここで、 $x = 0.42 \sim 0.48$ であり、かつ、室温における禁制帯幅が $1.3 eV \sim 1.46 eV$ ）または $Al_x Ga_y In_z As$ （ここで、 $x + y + z = 1$ であり、かつ、室温における禁制帯幅が $1.3 eV \sim 1.46 eV$ ）であり、不均一な量子ドットが、 $1.3 \mu m$ 帯及び $1.5 \mu m$ 帯を含む赤外光の何れかの波長を少なくとも含む多波長に対応する、電流注入により発光中心となる複数の量子準位を有していればよい。また、活性層とクラッド層が格子整合されていれば好ましい。

この構成によれば、半導体や半導体ヘテロ接合の内部にある不均一な量子ドット構造に起因した多数の量子準位を形成できる。そして、この多数の量子準位に起因した多波長発光や多波長増幅ができる不均一な量子ドットを有する半導体積層構造を得ることができる。

また、本発明の不均一な量子ドットを有する半導体積層構造を用いた発光ダイオードは、 $p$ 型半導体層と、 $n$ 型半導体層と、 $p$ 型または $n$ 型半導体層に含まれる不均一な量子ドット層と、を備え、量子ドットのそれぞれが、その大きさ及び組成の両者が異なる化合物半導体からなる不均一な量子ドットから形成されてお

り、不均一な量子ドットが、紫外光から可視光、 $1.3\ \mu\text{m}$ 帯及び $1.5\ \mu\text{m}$ 帯を含む赤外光の何れかの波長を少なくとも含む多波長に対応する、電流注入により発光中心となる複数の量子準位を有していて、p型半導体層とn型半導体層からなるpnダイオードへの電流注入を用いて不均一な量子ドット層を励起し、所定の多波長において発光させることを特徴とする。

さらに、不均一な量子ドットを有する半導体積層構造を含む活性層と、活性層の両側に形成される活性層よりも禁制帯幅の大きいクラッド層が積層されたダブルヘテロ接合構造と、を備え、量子ドットのそれぞれが、その大きさ及び組成の両者が異なる化合物半導体からなる不均一な量子ドットから形成されており、不均一な量子ドットが、紫外光から可視光、 $1.3\mu\text{m}$ 帯及び $1.5\mu\text{m}$ 帯を含む赤外光の何れかの波長を少なくとも含む多波長に対応する、電流注入により発光中心となる複数の量子準位を有して、ダブルヘテロ接合構造への電流注入を用いて不均一な量子ドット層を励起し、所定の多波長において発光させることを特徴とする。

上記構成において、発光ダイオードの基板は $\text{InP}$ であり、量子ドットは $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$ （ここで、 $0 < x \leq 0.6$ ）であればよい。また、量子ドットは、 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$ （ここで、 $0 < x \leq 0.6$ ）であり、活性層は、 $\text{InP}$ 、 $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$ （ここで、 $x = 0.27 \sim 0.65$ であり、かつ、室温における禁制帯幅が $0.95\text{eV} \sim 1.9\text{eV}$ ）、 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ （ここで、 $0 < x < 1$ であり、 $0 < y < 1$ である。）、 $\text{Al}_u\text{Ga}_v\text{In}_w\text{As}$ （ここで、 $u + v + w = 1$ であり、かつ、室温における禁制帯幅が $0.95\text{eV} \sim 1.9\text{eV}$ ）の何れか1つであればよい。

さらに、発光ダイオードの基板は $\text{InP}$ であり、量子ドットは $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$ （ここで、 $0 < x \leq 0.6$ ）であり、活性層は $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$ （ここで、 $x = 0.27 \sim 0.40$ であり、かつ、室温における禁制帯幅が $0.95\text{eV} \sim 1.24\text{eV}$ ）または $\text{Al}_u\text{Ga}_v\text{In}_w\text{As}$ （ここで、 $u + v + w = 1$ であり、かつ、室温における禁制帯幅が $0.95\text{eV} \sim 1.24\text{eV}$ ）であり、クラッド層は $\text{InP}$ であればよい。上記構成によれば、不均一な量子ドット層の量子準位を介した遷移からの多波長の強い発光を得ることができる。

さらに、本発明の不均一な量子ドットを有する半導体積層構造を用いた半導体レーザダイオードは、少なくとも1層以上の不均一な量子ドット層を有する活性層と、活性層の両側に形成される活性層よりも禁制帯幅の大きいクラッド層が積層されたダブルヘテロ接合構造と、を備え、量子ドットのそれぞれが、その大きさ及び組成の両者が異なる化合物半導体からなる不均一な量子ドットから形成さ

れており、不均一な量子ドットが、紫外光から可視光、 $1.3\ \mu\text{m}$ 帯及び $1.5\ \mu\text{m}$ 帯を含む赤外光の何れかの波長を少なくとも含む多波長に対応する、電流注入により発光中心となる複数の量子準位を有していて、ダブルヘテロ接合構造への電流注入を用いて不均一な量子ドット層を励起し、所

定の多波長でレーザ発振させることを特徴とする。

上記構成において、半導体レーザダイオードの基板は  $\text{InP}$  であり、量子ドットは  $\text{Ga}_x \text{In}_{1-x} \text{As}$  (ここで、 $0 < x \leq 0.6$ ) であり、活性層は  $\text{Al}_x \text{In}_{1-x} \text{As}$  (ここで、 $x = 0.27 \sim 0.40$  であり、かつ、室温における禁制帯幅が  $0.95 \text{ eV} \sim 1.24 \text{ eV}$ ) または  $\text{Al}_u \text{Ga}_v \text{In}_w \text{As}$  (ここで、 $u + v + w = 1$  であり、かつ、室温における禁制帯幅が  $0.95 \text{ eV} \sim 1.24 \text{ eV}$ ) であり、クラッド層は  $\text{Al}_x \text{In}_{1-x} \text{As}$  (ここで、ここで、 $x = 0.42 \sim 0.48$  であり、かつ、室温における禁制帯幅が  $1.3 \text{ eV} \sim 1.46 \text{ eV}$ ) または  $\text{Al}_x \text{Ga}_y \text{In}_z \text{As}$  (ここで、 $x + y + z = 1$  であり、かつ、室温における禁制帯幅が  $1.3 \text{ eV} \sim 1.46 \text{ eV}$ ) であればよい。また、活性層と、クラッド層が格子整合されていれば好ましい。この構成によれば、活性層に含まれる不均一な量子ドット層の多数の量子準位を介した遷移による多波長のレーザ光を得ることができる。

さらに、本発明の不均一な量子ドットを有する半導体積層構造を用いた半導体光増幅器は、少なくとも1層以上の不均一な量子ドット層を有する活性層と、活性層の両側に形成される活性層よりも禁制帯幅の大きいクラッド層が積層されたダブルヘテロ接合構造と、を備え、量子ドットのそれぞれが、その大きさ及び組成の両者が異なる化合物半導体からなる不均一な量子ドットから形成されており、不均一な量子ドットが、紫外光から可視光、 $1.3 \mu\text{m}$  帯及び  $1.5 \mu\text{m}$  帯を含む赤外光の何れかの波長を少なくとも含む多波長に対応する、電流注入により発光中心となる複数の量子準位を有して、ダブルヘテロ接合構造への電流注入を用いて不均一な量子ドット層を励起し、ダブルヘテロ接合構造の外部からの多波長入力光を増幅させることを特徴とする。

上記構成において、半導体光増幅器の基板は  $\text{InP}$  であり、量子ドットは  $\text{Ga}_x \text{In}_{1-x} \text{As}$  (ここで、 $0 < x \leq 0.6$ ) であり、活性層は  $\text{Al}_x \text{In}_{1-x}$

As (ここで、 $x=0.27\sim0.40$ であり、かつ、室温における禁制帯幅が $0.95\text{ eV}\sim1.24\text{ eV}$ ) または $\text{Al}_u\text{Ga}_v\text{In}_w\text{As}$  (ここで、 $u+v+w=1$ であり、かつ、室温における禁制帯幅が $0.95\text{ eV}\sim1.24\text{ eV}$ ) であり、クラッド層は $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$  (ここで、 $x=0.42\sim0.48$ であり、かつ、室温における禁制帯幅が $1.3\text{ eV}\sim1.46\text{ eV}$ ) または $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{As}$  (ここで、 $x+y+z=1$ であり、かつ、室温における禁制帯幅が $1.3\text{ eV}\sim1.46\text{ eV}$ ) であればよい。また、活性層と、クラッド層が格子整合されていれば好ましい。

この構成によれば、活性層に含まれる不均一な量子ドット層の多数の量子準位を介した遷移による多波長の光増幅を得ることができる。誘導放出断面積が大きいので、小型で増幅度の大きい半導体光増幅器を提供することができる。

次に、本発明の不均一な量子ドットを有する半導体積層構造を用いた半導体装置の製造方法は、半導体装置の不均一な量子ドット構造を、格子歪を必要としないエピタキシャル成長法により形成し、この際、不均一な量子ドット構造が、MOCVD法、MBE法、ガスソースMBE、MOMBEの何れかを用いて液滴エピタキシャル成長法による自己停止機構により形成されることを特徴とする。上記構成において、半導体装置は、発光ダイオード、半導体レーザダイオード及び半導体光増幅器の何れかの1つの半導体装置であればよい。

また、好ましくは、半導体装置の不均一な量子ドット構造が、その大きさ及び組成の何れか1つまたは両者が異なる化合物半導体からなる不均一な量子ドットから形成されている。また、好ましくは、量子ドット構造が、 $\text{InAs}$ または $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$  (ここで、 $0<x\leq0.6$ ) からなる。さらに、好ましくは、エピタキシャル成長法がMOCVD法であって、不均一な量子ドット層が、他の成長層の成長温度よりも低い成長温度において液滴エピタキシャル成長を用いて形成される工程を含む。

上記構成によれば、液滴エピタキシャル成長法により、形成する際に格子歪を必要としない不均一な量子ドット構造を有する半導体積層構造を形成でき、多波長発光や多波長増幅のできる発光ダイオード、半導体レーザダイオード、半導体光増幅器が製造できる。

さらに、本発明は、上記製造方法で製造される半導体装置であることを特徴とする。この構成によれば、液滴エピタキシャル成長法により、形成する際に格子歪を必要としないで、不均一な量子ドット構造を有する半導体積層構造を有する半導体装置を得ることができる。このような半導体装置は、多波長発光や多波長増幅のできる発光ダイオード、半導体レーザダイオード、半導体光増幅器となる。



## 請 求 の 範 囲

1. (補正後) 量子ドットが少なくとも1層以上積層され、  
上記量子ドットのそれぞれが、その大きさ及び組成の両者が異なる化合物半導体からなる不均一な量子ドットから形成されていて、  
上記不均一な量子ドットが、紫外光から可視光、 $1.3\mu\text{m}$ 帯及び $1.5\mu\text{m}$ 帯を含む赤外光、の何れかの波長を少なくとも含む多波長に対応する、電流注入により発光中心となる複数の量子準位を有することを特徴とする、不均一な量子ドットを有する半導体積層構造。
2. (補正後) 活性層の両側に、該活性層よりも禁制帯幅の大きいクラッド層が積層されたダブルヘテロ接合構造であって、  
上記活性層が、不均一な量子ドットからなる層を少なくとも1層以上含み、  
上記不均一な量子ドットのそれぞれが、その大きさ及び組成の両者が異なる化合物半導体からなる不均一な量子ドットから形成されていて、  
上記不均一な量子ドットが、紫外光から可視光、 $1.3\mu\text{m}$ 帯及び $1.5\mu\text{m}$ 帯を含む赤外光、の何れかの波長を少なくとも含む多波長に対応する、電流注入により発光中心となる複数の量子準位を有することを特徴とする、不均一な量子ドットを有する半導体積層構造。
3. (削除)
4. (補正後) 前記不均一な量子ドット層が、前記活性層に多層埋め込まれた構造からなることを特徴とする、請求項2に記載の不均一な量子ドットを有する半導体積層構造。
5. (補正後) 前記量子ドットは、 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$  (ここで、 $0 < x \leq 0.6$ ) であり、  
前記活性層は、 $\text{InP}$ ,  $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$  (ここで、 $x = 0.27 \sim 0.6$ )

5であり、かつ、室温における禁制帯幅が $0.95\text{ eV} \sim 1.9\text{ eV}$ ),  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$  (ここで、 $0 < x < 1$ であり、 $0 < y < 1$ である。),  $\text{Al}_u\text{Ga}_v\text{In}_w\text{As}$  (ここで、 $u + v + w = 1$ であり、かつ、室温における禁制帯幅が $0.95\text{ eV} \sim 1.9\text{ eV}$ ) の何れか1つであり、

上記不均一な量子ドットが、 $1.3\text{ }\mu\text{m}$ 帯及び $1.5\text{ }\mu\text{m}$ 帯を含む赤外光の何れかの波長を少なくとも含む多波長に対応する、電流注入により発光中心となる複数の量子準位を有することを特徴とする、請求項2または4に記載の不均一な量子ドットを有する半導体積層構造。

6. (補正後) 前記不均一な量子ドット構造を有する半導体積層構造の基板は $\text{InP}$ であり、

前記量子ドットは $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$  (ここで、 $0 < x \leq 0.6$ ) であり、

前記活性層は $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$  (ここで、 $x = 0.27 \sim 0.40$ であり、かつ、室温における禁制帯幅が $0.95\text{ eV} \sim 1.24\text{ eV}$ ) または $\text{Al}_u\text{Ga}_v\text{In}_w\text{As}$  (ここで、 $u + v + w = 1$ であり、かつ、室温における禁制帯幅が $0.95\text{ eV} \sim 1.24\text{ eV}$ ) であり、

前記クラッド層は $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$  (ここで、 $x = 0.42 \sim 0.48$ であり、かつ、室温における禁制帯幅が $1.3\text{ eV} \sim 1.46\text{ eV}$ ) または $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{As}$  (ここで、 $x + y + z = 1$ であり、かつ、室温における禁制帯幅が $1.3\text{ eV} \sim 1.46\text{ eV}$ ) であり、

上記不均一な量子ドットが、 $1.3\text{ }\mu\text{m}$ 帯及び $1.5\text{ }\mu\text{m}$ 帯を含む赤外光の何れかの波長を少なくとも含む多波長に対応する、電流注入により発光中心となる複数の量子準位を有することを特徴とする、請求項2または4に記載の不均一な量子ドットを有する半導体積層構造。

7. (補正後) 前記活性層と前記クラッド層が格子整合されていることを特徴とする請求項2, 4～6の何れかに記載の不均一な量子ドットを有する半導体積層構造。

8. (補正後) p型半導体層と、n型半導体層と、p型またはn型半導体層に含まれる不均一な量子ドット層と、を備え、

上記量子ドットのそれぞれが、その大きさ及び組成の両者が異なる化合物半導体からなる不均一な量子ドットから形成されており、

上記不均一な量子ドットが、紫外光から可視光、 $1.3\ \mu\text{m}$ 帯及び $1.5\ \mu\text{m}$ 帯を含む赤外光の何れかの波長を少なくとも含む多波長に対応する、電流注入により発光中心となる複数の量子準位を有していて、

上記p型半導体層とn型半導体層からなるpnダイオードへの電流注入を用いて上記不均一な量子ドット層を励起し、所定の多波長において発光させることを特徴とする、不均一な量子ドットを有する半導体積層構造を用いた発光ダイオード。

9. (補正後) 不均一な量子ドットを有する半導体積層構造を含む活性層と、

該活性層の両側に形成される上記活性層よりも禁制帯幅の大きいクラッド層が積層されたダブルヘテロ接合構造と、を備え、

上記量子ドットのそれぞれが、その大きさ及び組成の両者が異なる化合物半導体からなる不均一な量子ドットから形成されており、

上記不均一な量子ドットが、紫外光から可視光、 $1.3\ \mu\text{m}$ 帯及び $1.5\ \mu\text{m}$ 帯を含む赤外光の何れかの波長を少なくとも含む多波長に対応する、電流注入により発光中心となる複数の量子準位を有していて、

上記ダブルヘテロ接合構造への電流注入を用いて上記不均一な量子ドット層を励起し、所定の多波長において発光させることを特徴とする、不均一な量子ドットを有する半導体積層構造を用いた発光ダイオード。

10. (削除)

11. (削除)

12. (補正後) 前記発光ダイオードの基板は  $\text{InP}$  であり、前記量子ドットは  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$  (ここで、 $0 < x \leq 0.6$ ) であることを特徴とする、請求項8または9に記載の不均一な量子ドットを有する半導体積層構造を用いた発光ダイオード。

13. (補正後) 前記量子ドットは、 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$  (ここで、 $0 < x \leq 0.6$ ) であり、

前記活性層は、 $\text{InP}$ ,  $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$  (ここで、 $x = 0.27 \sim 0.65$  であり、かつ、室温における禁制帯幅が  $0.95\text{ eV} \sim 1.9\text{ eV}$ )、 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$  (ここで、 $0 < x < 1$  であり、 $0 < y < 1$  である。)、 $\text{Al}_u\text{Ga}_v\text{In}_w\text{As}$  (ここで、 $u + v + w = 1$  であり、かつ、室温における禁制帯幅が  $0.95\text{ eV} \sim 1.9\text{ eV}$ ) の何れか1つであることを特徴とする、請

求項 9, 11, 12 の何れかに記載の不均一な量子ドットを有する半導体積層構造を用いた発光ダイオード。

14. (補正後) 前記発光ダイオードの基板は  $\text{InP}$  であり、  
 前記量子ドットは  $\text{Ga}_x \text{In}_{1-x} \text{As}$  (ここで、 $0 < x \leq 0.6$ ) であり、  
 前記活性層は  $\text{Al}_x \text{In}_{1-x} \text{As}$  (ここで、 $x = 0.27 \sim 0.40$  であり、  
 かつ、室温における禁制帯幅が  $0.95 \text{ eV} \sim 1.24 \text{ eV}$ ) または  $\text{Al}_u \text{Ga}_v \text{In}_w \text{As}$  (ここで、 $u + v + w = 1$  であり、かつ、室温における禁制帯幅が  $0.95 \text{ eV} \sim 1.24 \text{ eV}$ ) であり、

前記クラッド層は  $\text{InP}$  であることを特徴とする、請求項 9 に記載の不均一な量子ドットを有する半導体積層構造を用いた発光ダイオード。

15. (補正後) 少なくとも 1 層以上の不均一な量子ドット層を有する活性層と、

該活性層の両側に形成される上記活性層よりも禁制帯幅の大きいクラッド層が積層されたダブルヘテロ接合構造と、を備え、

上記量子ドットのそれぞれが、その大きさ及び組成の両者が異なる化合物半導体からなる不均一な量子ドットから形成されており、

上記不均一な量子ドットが、紫外光から可視光、 $1.3 \mu\text{m}$  帯及び  $1.5 \mu\text{m}$  帯を含む赤外光の何れかの波長を少なくとも含む多波長に対応する、電流注入により発光中心となる複数の量子準位を有していて、

上記ダブルヘテロ接合構造への電流注入を用いて上記不均一な量子ドット層を励起し、所定の多波長でレーザ発振させることを特徴とする、不均一な量子ドットを有する半導体積層構造を用いた半導体レーザダイオード。

16. (削除)

17. (削除)

18. (補正後) 前記半導体レーザダイオードの基板は  $\text{InP}$  であり、  
 前記量子ドットは  $\text{Ga}_x \text{In}_{1-x} \text{As}$  (ここで、 $0 < x \leq 0.6$ ) であり、  
 前記活性層は  $\text{Al}_x \text{In}_{1-x} \text{As}$  (ここで、 $x = 0.27 \sim 0.40$  であり、  
 かつ、室温における禁制帯幅が  $0.95 \text{ eV} \sim 1.24 \text{ eV}$ ) または  $\text{Al}_u \text{Ga}_v \text{In}_w \text{As}$  (ここで、 $u + v + w = 1$  であり、かつ、室温における禁制帯幅が  
 $0.95 \text{ eV} \sim 1.24 \text{ eV}$ ) であり、

前記クラッド層は  $\text{Al}_x \text{In}_{1-x} \text{As}$  (ここで、ここで、 $x = 0.42 \sim 0.48$  であり、かつ、室温における禁制帯幅が  $1.3 \text{ eV} \sim 1.46 \text{ eV}$ )、または、 $\text{Al}_x \text{Ga}_y \text{In}_z \text{As}$  (ここで、 $x + y + z = 1$  であり、かつ、室温における禁制帯幅が  $1.3 \text{ eV} \sim 1.46 \text{ eV}$ ) であることを特徴とする、請求項15に記載の不均一な量子ドットを有する半導体積層構造を用いた半導体レーザダイオード。

19. (補正後) 前記活性層と、前記クラッド層が格子整合することを特徴とする、請求項15または18に記載の不均一な量子ドットを有する半導体積層構造を用いた半導体レーザダイオード。

20. (補正後) 少なくとも1層以上の不均一な量子ドット層を有する活性層と、該活性層の両側に形成される上記活性層よりも禁制帯幅の大きいクラッド層が積層されたダブルヘテロ接合構造と、を備え、

上記量子ドットのそれぞれが、その大きさ及び組成の両者が異なる化合物半導体からなる不均一な量子ドットから形成されており、

上記不均一な量子ドットが、紫外光から可視光、 $1.3 \mu\text{m}$  帯及び  $1.5 \mu\text{m}$  帯を含む赤外光の何れかの波長を少なくとも含む多波長に対応する、電流注入により発光中心となる複数の量子準位を有していて、

上記ダブルヘテロ接合構造への電流注入を用いて上記不均一な量子ドット層を励起し、上記ダブルヘテロ接合構造の外部からの多波長入力光を増幅させることを特徴とする、不均一な量子ドットを有する半導体積層構造を用いた半導体光増幅器。

21. (削除)

22. (削除)

23. (補正後) 前記半導体光増幅器の基板は  $\text{InP}$  であり、  
前記量子ドットは  $\text{Ga}_x \text{In}_{1-x} \text{As}$  (ここで、 $0 < x \leq 0.6$ ) であり、  
前記活性層は  $\text{Al}_x \text{In}_{1-x} \text{As}$  (ここで、 $x = 0.27 \sim 0.40$  であり、  
かつ、室温における禁制帯幅が  $0.95 \text{ eV} \sim 1.24 \text{ eV}$ ) または  $\text{Al}_u \text{Ga}_v \text{In}_w \text{As}$  (ここで、 $u + v + w = 1$  であり、かつ、室温における禁制帯幅が  $0.95 \text{ eV} \sim 1.24 \text{ eV}$ ) であり、  
前記クラッド層は  $\text{Al}_x \text{In}_{1-x} \text{As}$  (ここで、 $x = 0.42 \sim 0.48$  であり、かつ、室温における禁制帯幅が  $1.3 \text{ eV} \sim 1.46 \text{ eV}$ )、または、 $\text{Al}_x \text{Ga}_y \text{In}_z \text{As}$  (ここで、 $x + y + z = 1$  であり、かつ、室温における禁制帯幅が  $1.3 \text{ eV} \sim 1.46 \text{ eV}$ ) であることを特徴とする、請求項20に記載の不均一な量子ドットを有する半導体積層構造を用いた半導体光増幅器。

24. (補正後) 前記活性層と、前記クラッド層が格子整合することを特徴とする、請求項20または23に記載の不均一な量子ドットを有する半導体積層構造を用いた半導体光増幅器。

25. (補正後) 不均一な量子ドット構造を有する半導体装置の製造方法であって、

上記半導体装置の不均一な量子ドット構造を、格子歪を必要としないエピタキシャル成長法により形成し、この際、上記不均一な量子ドット構造が、MOCVD法、MBE法、ガスソースMBE、MOMBEの何れかを用いて液滴エピタキシャル成長法による自己停止機構により形成されることを特徴とする、不均一な量子ドットを有する半導体積層構造を用いた半導体装置の製造方法。

26. 前記半導体装置は、発光ダイオード、半導体レーザダイオード及び半導体光増幅器の何れかの1つの半導体装置であることを特徴とする、請求項25に記載の不均一な量子ドットを有する半導体積層構造を用いた半導体装置の製造方法。

27. (補正後) 前記半導体装置の不均一な量子ドット構造が、その大きさ及び組成の何れか1つまたは両者が異なる化合物半導体からなる不均一な量子ドットから形成されていることを特徴とする、請求項25または26に記載の不均一な量子ドットを有する半導体積層構造を用いた半導体装置の製造方法。

28. (補正後) 前記量子ドット構造が、 $\text{InAs}$ または $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$  (ここで、 $0 < x \leq 0.6$ ) からなることを特徴とする、請求項27に記載の不均一な量子ドットを有する半導体積層構造を用いた半導体装置の製造方法。

29. (補正後) 前記エピタキシャル成長法がMOCVD法であって、前記不均一な量子ドット層が、他の成長層の成長温度よりも低い成長温度において液滴エピタキシャル成長を用いて形成される工程を含むことを特徴とする、請求項25に記載の不均一な量子ドットを有する半導体積層構造を用いた半導体装置の製造方法。

30. (追加) 請求項25～29の何れかに記載の不均一な量子ドットを



有する半導体積層構造を用いた半導体装置の製造方法によって製造したことを特徴とする、半導体装置。

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**